Aus der Neurologischen Klinik der Universität Würzburg
Direktor: Professor Dr. med. G. Schaltenbrand

DIE LEITGESCHWINDIGKEIT MOTORISCHER NERVENFASERN DES NERVUS ULNARIS IM VERLAUF EINES TAGES

INAUGURAL – DISSERTATION

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Sang Wook Kim
aus Süd-Korea

Würzburg 1966

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544722_0031

Aus der Neurologischen Klinik der Universität Würzburg
Direktor: Professor Dr. med. G. Schaltenbrand

DIE LEITGESCHWINDIGKEIT MOTORISCHER NERVENFASERN DES NERVUS ULNARIS IM VERLAUF EINES TAGES

INAUGURAL – DISSERTATION

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Sang Wook Kim
aus Süd-Korea

Würzburg 1966

Referent: Privatdozent Dr. med. H. C. Hopf

Korreferent: Professor Dr. med. G. Schaltenbrand

Tag der Promotion: 4. 12. 67

UNIV. LEIDEN BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität Würzburg

INHALTSVERZEICHNIS

EINLEITUNG	1
GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK	2
METHODIK	4
ERGEBNISSE	9
BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE	18
ZUSAMMENFASSUNG	23
LITERATUR	

EINLEITUNG

Die Bestimmung der Leitgeschwindigkeit peripherer Nerven findet immer mehr Eingang in die klinische Routinediagnostik. Sie hat sich als wichtiges und wertvolles Kriterium für die Beurteilung neuritischer Erkrankungen wie auch lokaler Druckschädigungen der peripheren Nerven erwiesen. Die Anwendung dieser Methodik in der Klinik setzt voraus, daß man verläßliche, statistisch ermittelte Werte besitzt, an denen man sich orientieren kann; besonders natürlich, wenn leichte Funktionsstörungen gegenüber einem Normalbefund abzugrenzen sind. Nun haben die bisherigen vielfältigen Untersuchungen zu dieser Thematik gezeigt, daß sowohl die Mittelwerte, die die verschiedenen Autoren mitgeteilt haben, als auch die Befunde der einzelnen Autoren bei verschiedenen Patienten mitunter erheblich voneinander abweichen. Als untere Grenze der Leitgeschwindigkeit unter physiologischen Bedingungen wird heute allgemein ein Wert um 45 - 50 m/sec angenommen. (N. ulnaris 48 m/sec, N. medianus 45 m/sec, N. radialis 50 m/sec, N. ischiadicus ca 40 m/sec). Gar nicht so selten müssen aber diese Werte im Bereich der unteren Norm im Einzelfall schon als pathologisch angesehen werden, wenn nämlich aufgrund des klinischen Bildes feststeht, daß eine periphere Nervenerkrankung, beispielsweise im Sinne einer Polyneuritis, vorliegt. Wenn man von der Vorstellung ausgeht, daß für jeden Patienten eine bestimmte Leitgeschwindigkeit charakteristisch ist, in Analogie etwa zu dem individuellen Verhalten des Alpha-Rhythmus im EEG (siehe JUNG, 1953 und DUENSING, 1952), dann ist zu folgern, daß schon ein Wert um 50 - 55 m/sec bei demjenigen Patienten eine periphere Nervenschädigung anzeigt, dessen Leitgeschwindigkeit physiologischerweise um 65 m/sec liegt.

An der Neurologischen Universitätsklinik Würzburg wurde im Jahre 1962 eine Technik entwickelt, mit deren Hilfe nicht nur die raschest leitenden motorischen Nervenfasern, sondern auch die langsam leitenden in ihrer Leitgeschwindigkeit erfaßt werden können. Es stellte sich heraus, daß sich

der Unterschied zwischen rasch- und langsam leitenden Motoneuronen bei gesunden Versuchspersonen in gewissen engen Grenzen bewegt. Nach den bisherigen Erfahrungen erlaubt eine Erhöhung dieses Unterschiedes eine periphere Nervenschädigung zu diagnostizieren, auch wenn die maximale Leitgeschwindigkeit im Normbereich liegt.

In der vorliegenden Studie wird nun der Versuch unternommen, den möglichen individuellen Faktor der Leitgeschwindigkeit herauszuarbeiten. Gleichzeitig sollte eine bereits 1961 von CORBAT angeschnittene Frage überprüft werden. Dieser Autor stellte fest, daß die Leitgeschwindigkeit bei dem gleichen Individuum in erheblichen Grenzen schwankte. Seine Untersuchungen basierten jedoch auf Meßergebnissen bei nur drei Patienten.

GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK

Der erste, der die Leitgeschwindigkeit in motorischen Nervenfasern des Menschen direkt gemessen hat, war v. HELMHOLTZ (1867 und 1870). Er hatte bereits im Jahre 1850 die elektrische Doppelreizungsmethode im Tierexperiment durchgeführt. Seine Registriertechnik war jedoch noch nicht befriedigend, da nur die mechanische muskuläre Antwort aufgezeichnet werden konnte. PIPER (1908) griff das Muskelpotential mit den Hautelektroden ab und wählte einen Galvanometer zur Aufzeichnung. Er nahm bezug auf einzelne proximale Extremitätenmuskeln und errechnete die Leitgeschwindigkeit mit 120 m/sec. Der Nachteil bestand auch hier in der relativen Trägheit der Registrier-Instrumente.

Erst als die Röhrenverstärkertechnik und der Oszillograph zur Verfügung standen, waren genauere Messungen mit einer trägheitslos und verzerrungsfrei arbeitenden Apparatur möglich. Die erste eingehende Arbeit am Menschen mit der oszillographischen Technik stammte von HODES und Mitarb. aus dem Jahre 1948. Diese Autoren haben schon viele wesentliche und grundlegende Gesichtspunkte über Veränderungen der elektrischen

Muskelantwort bei peripheren Nervenerkrankungen herausgestellt. Zahlreiche weitere Untersuchungsergebnisse sind seither mitgeteilt worden. Die frühesten gehen auf den Arbeitskreis um MAGLADERY und MCDOUGAL (1950) zurück, weiter sind WAGMAN und LESSE (1952), BOLZANI (1954) und HENRIKSEN (1956) zu nennen.

Nach dem Vorschlag von HODES und Mitarbeitern (1948) wurde das zeitliche Intervall zwischen dem Reizartefakt einerseits und dem Beginn des Muskelpotentials andererseits gemessen, wobei derjenige Punkt des Potentials gewählt wurde, an dem sich die negative initiale Schwankung von der Grundlinie abhebt. Diese Markierungen dürfen wohl als verläßlichste Bezugspunkte gelten. HODES und Mitarb. selbst haben schon darauf hingewiesen, daß auf diese Weise jedoch nur die Leitgeschwindigkeit der raschest leitenden motorischen Nervenfasern erfaßt werden kann.

MERTON (1951 und 1954) hob als erster die unterschiedliche Leitgeschwindigkeit der motorischen Alphafasern bei Untersuchungen am Menschen hervor. Er zeigte, daß die mechanische Muskelantwort durch dieses Moment beeinflußt wird und zwar in Abhängigkeit von der Reizdistanz.

BOLZANI versuchte dann 1954 diese Unterschiede in der Impulsleitung der Alphafasern aus der Dauer der Muskelantwort zu berechnen. Er fand bei fünf Versuchspersonen eine Differenz von 2,85 bis 19,06% entsprechend 2 - 11 m/sec zwischen muskelnah und muskelfern ausgelöstem Muskelpotential. POLONI und SALA (1961) wählten ebenfalls die Potentialdauer, kamen aber auf Differenzen von 15 m/sec und mehr.

THOMAS und Mitarb. (1959) wendeten eine Doppelreizmethode an: in möglichst großer Entfernung vom Muskel wurde der zugehörige Nerv supramaximal gereizt. Nach einem gleichbleibenden Intervall, welches kürzer war als die Laufzeit zwischen beiden Reizorten, wurde dann ein zweiter Reiz dicht am Muskel gesetzt. Bei kontinuierlicher Erhöhung der Intensität dieses zweiten Reizes nun ergab sich eine Änderung in der Latenz der Antwort auf den ersten Reiz. Danach berechneten THOMAS und Mitarb., daß die Laufzeit der langsamen Axone 15 - 20 bis 35 - 40 % geringer ist als die

der raschen Fasern.

Mit Hilfe einer etwas anderen Technik gelang es HOPF (1962 a) die Unterschiede in der Leitgeschwindigkeit direkt zu bestimmen. Sie wird im folgenden noch näher erklärt werden. Es ergab sich, daß die langsamen Fasern nicht mehr als 8 - 9 m/sec langsamer leiten als die raschen Fasern. Diese letzteren drei Methoden wurden von SKORPIL und ZVERINA (1963) nachgeprüft. Es wurde bestätigt, daß die Methode nach HOPF offenbar die zuverlässigste ist.

Mit dieser neuen Möglichkeit, nämlich auch die langsam leitenden Axone zu erfassen, besitzen wir heute ein weiteres gutes diagnostisches Kriterium für die Erkennung selbst leichter Funktionsstörungen im peripheren Nerven, welches der üblichen Technik der Leitzeitbestimmung gerade in den klinisch unklaren Fällen überlegen ist.

METHODIK

Für die vorliegende Studie wurden 12 gesunde Versuchspersonen im Alter zwischen 19 und 41 Jahren (Durchschnittsalter 26 Jahre) ausgewählt. Bei ihnen konnte aufgrund klinischer Kriterien eine Erkrankung der peripheren Nerven ausgeschlossen werden.

Ausnahmslos wurde der linke N. ulnaris untersucht, wobei das zugehörige Muskelpotential vom Hypothenar abgegriffen wurde.

Die Untersuchungen erstreckten sich über den ganzen Tag, und zwar wurden bei allen Patienten fünf Messungen vorgenommen: um 8.00, 11.30, 12.30, 16.00 und 20.00 Uhr. Das relativ kurze Intervall zwischen 11.30 und 12.30 zeichnet sich dadurch aus und war dadurch bedingt, daß das Mittagessen dazwischen lag. Die Patienten erhielten das Frühstück vor 8 Uhr, das Abendessen etwa um 18 Uhr.

Zur bipolaren perkutanen Reizung dienten silberne Plättchenelektro-

den mit einem Durchmesser von 8 mm, die in einem festen Abstand von 15 mm auf einem Plexiglasklötzchen montiert waren. Das Summenpotential wurde über Silberplättchen mit einem Durchmesser von 12 - 16 mm ebenfalls bipolar und perkutan abgeleitet. Ihre Befestigung erfolgte mit Heftpflasterstreifen. Um den Hautwiderstand zu verringern, wurden die Plättchen mit einer Salzpaste bestrichen.

Als Reizgerät verwendeten wir ein Zweifach-Röhrenreizgerät der Firma Tönnies, Freiburg. Beide Reizeinheiten konnten unabhängig voneinander eingestellt und je nach Bedarf über einen Verzögerer miteinander gekoppelt werden. Die Reizauslösung erfolgte über den Kipp des Oszillographen. Die Ausgänge wurden über einen Reiztransformator geleitet, damit der Reizartefakt möglichst klein blieb. Als Reiz selbst wurde ein Rechteckimpuls von 0,5 msec Dauer gewählt. Zur Registrierung stand ein 4-Strahl-Oszillograph der gleichen Firma zur Verfügung.

Im folgenden nehmen wir Bezug auf die maximale Leitgeschwindigkeit (ML), die terminale Überleitungszeit (TÜ), die Streubreite (STB) sowie die Dauer des Summenpotentials bei distaler und proximaler Reizung.

Die maximale Leitgeschwindigkeit entspricht der Zeit, die die elektrische Erregung eines Motoneurons benötigt, um eine gewisse Strecke zu überspringen. Man kann sie am exaktesten bestimmen, indem man den betreffenden Nerven an zwei möglichst weit voneinander entfernt liegenden Orten reizt und die elektrische Muskelantwort aufzeichnet. In jedem Einzelfall wird die Überleitungszeit vom Reizeinbruch bis zum Beginn des Muskelpotentials gemessen. Bildet man nun die Differenz zwischen der Überleitungszeit nach proximaler (muskelferner) Reizung und der nach distaler (muskelnaher) Reizung, so kann man die echte Laufzeit zwischen der Reizorten errechnen. Setzt man diese in Beziehung zu der Reizdistanz, so erhält man die Leitgeschwindigkeit, die gewöhnlich in m/sec ausgedrückt wird. Da sich infolge von Meßfehlern gar nicht selten dennoch falsche Werte ergeben, wurde in jedem Fall das Meßergebnis nach der Doppelreizmethode von HOPF (siehe später) überprüft und gegebenenfalls korrigiert.

Die terminale Überleitungszeit ist das Intervall zwischen Reizeinbruch und Beginn des Muskelpotentials bei einem Reizort, der so weit wie möglich distal liegt. In ihr sind neben der eigentlichen Laufzeit als wesentlichste Faktoren noch die Leitzeit im terminalen marklosen Abschnitt sowie die neuromuskuläre Übertragungszeit enthalten. Für diese beiden Faktoren muß man etwa 1,5 msec ansetzen (siehe LORENTE DE NO (1935 u. 1938), ECCLES u. O' CONNER 1939, KUFFLER 1948, JARCHO u. Mitarb. 1950, BROCH u. Mitarb. 1952, LILEY u. NORTH 1953, BOYD u. MARTIN 1956). Da die Reizdistanz nur gering ist und die Berechnung auch sonst mit Fehlermöglichkeiten behaftet ist, verzichtet man auf eine Umrechnung in m/sec als Leitgeschwindigkeit, sondern gibt die Überleitungszeit direkt in msec an. In unseren Meßergebnissen wurde in allen Fällen eine Berechnung auf gleiche Reizdistanz von 6 cm vorgenommen: (terminale Überleitungszeit - 1,5 msec geteilt durch Reizdistanz x 6 cm + 1,5 msec = korrigierte Überleitungszeit.

Für beide Meßergebnisse ist es wichtig, daß der Reiz stets supramaximal ist; darauf wurde stets geachtet.

Die Methode zur Bestimmung der Streubreite macht sich die folgende Tatsache zunutze: bei Reizung eines Nerven an zwei voneinander entfernt liegenden Orten läßt ein einmal erregtes Axon (antidrom durch Reiz am Handgelenk) einen gegensinnig laufenden Impuls (orthodrom durch Reiz am Oberarm) nicht durch, so lange die erste Erregung den zweiten Reizort nicht passiert hat (TASAKI 1959; siehe auch HOPF und HUFSCHMIDT 1962). Stellt man sich einen Nerven aus verschiedenen rasch leitenden Axonen zusammengesetzt vor, so ist zu erwarten, daß die Impulse von einem muskelnahe gegebenen ersten Reiz an einem entfernt vom Muskel liegenden zweiten Reizort gegeneinander verzögert eintreffen, bzw. diesen passieren. Ein hier gesetzter Reiz kann also bei einer zeitlichen Verzögerung gegenüber dem ersten Reiz, welche weniger beträgt als die Laufzeit von Reizort zu Reizort, keine Muskelkontraktion hervorrufen. Wird die zeitliche Verzögerung jedoch vergrößert, so daß ein Teil der Nervenfasern ihre refraktäre Periode bereits überwunden hat, wenn der nachfolgende

Reiz ausgelöst wird, so ist zunächst ein kleines Muskelpotential zu erwarten, bis schließlich bei weiterer Verzögerung der Reizeffekt einer supramaximalen Reizung gleichkommt (siehe Abb. 1 u. 2).

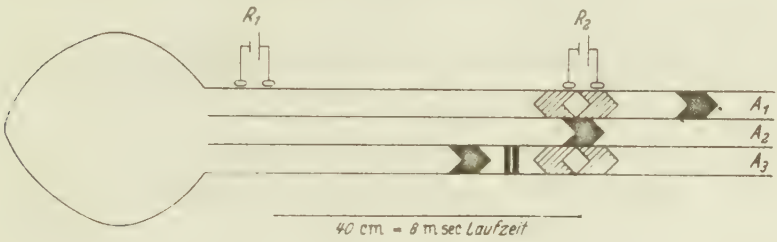

Abb. 1:
Links der Muskel, rechts der versorgende motorische Nerv, welcher aus drei Axonen (A_1 - A_3) mit unterschiedlicher Leitgeschwindigkeit (A_1 raschestes, A_3 langsamstes Axon) besteht. R_1 distaler (muskelnaher), R_2 proximaler (muskelferner) Reizort. Die schwarzen Pfeile sollen die antidrom geleiteten Impulse von R_1 andeuten, die schraffierten Pfeile die in A_1 und A_3 nach 8 msec durch R_2 ausgelöste Erregung zu einem Zeitpunkt, da A_1 die Refraktärphase überwunden hat und da der antidrome Impuls in A_3 R_2 noch nicht erreicht hat. In A_3 löschen sich orthodrome und antidrome Erregungswellen aus (schwarzer Doppelstrich). A_2 ist unerregbar für R_2. (aus HOPF, H. C.: Akrodermatitis chronica atrophicans (HERXHEIMER) und Nervensystem.)

Die raschest leitenden Axone sind durch den zweiten Reiz am frühesten wieder erregbar, die langsam leitenden zuletzt. Die Zeit, um die das Reizintervall erhöht werden muß, damit die erste, kleinste Beantwortung des zweiten Reizes zur maximalen Reizantwort anwächst, ist dabei das Maß für den Unterschied in der Leitgeschwindigkeit zwischen rasch und langsam leitenden Motoneuronen. Bei der Berechnung der Leitgeschwindigkeit wurde die Dauer der Refraktärphase mit 0,5 msec berücksichtigt.

Die Dauer des Summenpotentials wird vom Beginn bis zum Ausklingen der Potentialsschwankung gemessen.

Die Versuchsbedingungen waren zu allen Untersuchungszeiten konstant. Die Zimmertemperatur betrug gleichbleibend 23°C. Die Exposition

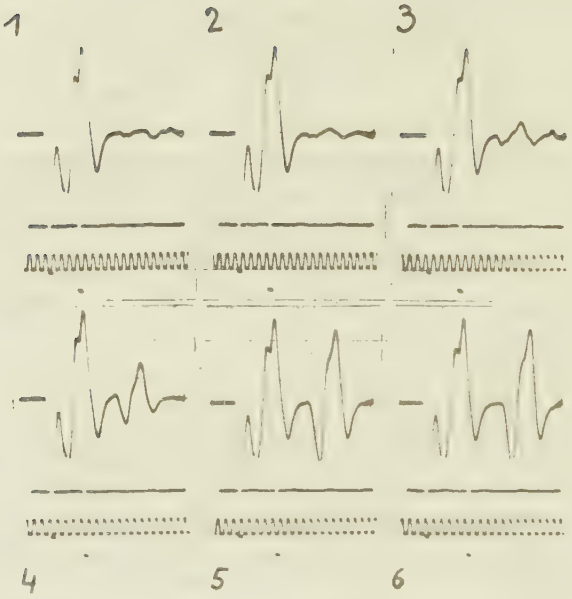

Abb. 2
Bestimmung der Streubreite. Fortlaufende Vergrößerung des Reizintervalles von 1 bis 6. Bei 1 erstes Auftreten einer sehr niedrigen Antwort auf den zweiten Reiz. Diese nimmt von 2 bis 5 an Größe zu und erreicht bei 6 den Maximalwert. In jedem Einzelbild: oben Muskelpotential, mittlere Zeile Reizmarkierung, unten Zeit 500 Hz. (aus HOPF, H. C. 1966)

der Extremität war gleich lang. Allerdings wurde die Gewebstemperatur während der Untersuchung nicht gemessen. Durch die geringe Variation der Ergebnisse glaubten wir Einflüsse der Umweltbedingungen ausschließen zu können.

ERGEBNISSE

1) Die maximale Leitgeschwindigkeit (ML)

Aus der Tabelle 1 gehen die einzelnen Werte für die maximale Leitgeschwindigkeit im motorischen Anteil des N. ulnaris unserer 12 Versuchspersonen und ihre Variation im Verlauf eines Tages hervor. In der Abbildung 3 sind diese Daten noch einmal graphisch dargestellt; gleichzei-

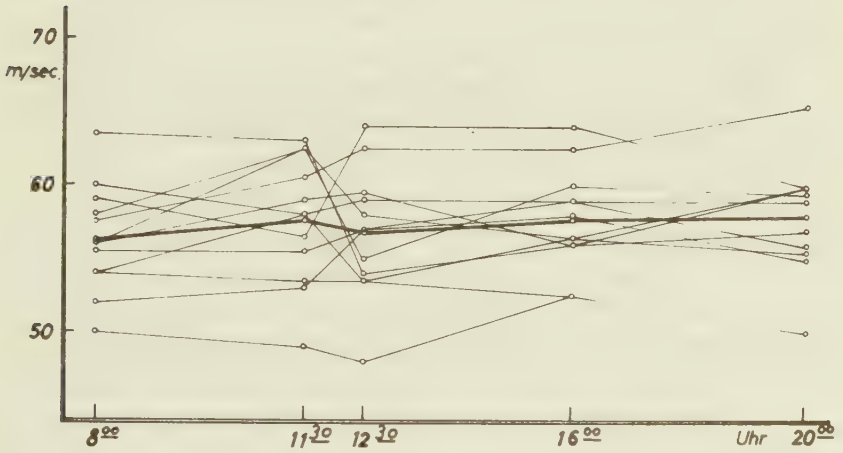

Abb. 3:
Graphische Darstellung der maximalen Leitgeschwindigkeit bei 12 Versuchspersonen. Die Mittelwerte zu den einzelnen Untersuchungszeiten sind durch die dick ausgezogene Kurve miteinander verbunden.

tig ist der Mittelwert eingezeichnet. Man erkennt daraus, daß sich die maximale Leitgeschwindigkeit nur innerhalb enger Grenze bewegt. Die Mittelwerte für die einzelnen Versuchspersonen, die sich jeweils aus fünf über den Tag verteilten Messungen ergeben, variieren zwischen 50 m/sec und 61, 7 m/sec. Die Abweichung von diesen individuellen Mittelwerten ist gering (0, 7 - 4, 3 m/sec), sie überschreitet durchschnittlich 2, 5 m/sec nicht. Sie ist auch geringer als die interindividuelle Streuung, die sich zwischen 3, 4 m/sec und 4, 3 m/sec bewegt. Das bedeutet, daß die maximale Leitge-

Tabelle 1

V.P.	Alter	8^{00}	11^{30}	12^{30}	16^{00}	20^{00}	MW ± MA	M.V.
E.O.	41	50	49	48	52,5	50	50 ± 1,7	48 - 52,5
S.I.	40	63,5	63	54	56	57	58,7 ± 4,3	54 - 63,5
K.S.W.	36	58	62,5	55	60	59,5	59 ± 2,7	55 - 62,5
K.F.	35	55,5	55,5	57	58	55	56 ± 1,3	55 - 58
F.U.	30	56	59	59,5	56	60	58 ± 1,9	56 - 60
B.O.	25	57,5	60,5	62,5	62,5	65,5	61,7 ± 2,9	57,5 - 65,5
B.H.	25	52	53	57	59	56	55,4 ± 2,7	52 - 59
R.R.	24	59	56,5	64	64	60	60,7 ± 3,4	56,5 - 64
B.G.	20	54	58	53,5	52,5		54,5 ± 2,4	52,5 - 58
K.R.	19	56	62,5	58	56,5	60	58,6 ± 2,7	56 - 62,5
E.Ch.	19	54	53,5	53,5	56,5	55,5	54,6 ± 1,3	53,5 - 56,5
K.M.	19	60	58	59	59	59	59 ± 0,7	58 - 60
MW ± MA	26 ± 8,5	56,3 ± 3,7	57,6 ± 4,3	56,8 ± 4,3	57,7 ± 3,4	58 ± 3,9	57 ± 3,9	
M.V.	41 - 19	50 - 63,5	49 - 62,5	48 - 64	52,5 - 64	50 - 65,5		48 - 65,5

Maximale Leitgeschwindigkeit (ML) m/sec
V.P. = Versuchspersonen, MW = Mittelwert, MA = mittlere Abweichung, M.V. = maximale Variationsbreite.

schwindigkeit im Verlauf eines Tages recht konstant eingehalten wird und wahrscheinlich ein charakteristisches physiologisches Merkmal eines Menschen ist.

Größere Abweichungen in den Ergebnissen aufeinanderfolgender Untersuchungen bei dem gleichen Probanden fanden sich nur bei drei Patienten mit 9 m/sec (Pat. S. I.), mit 7,5 m/sec (Pat. R. R.) und mit 6,5 m/sec (Pat. K. R.). Im übrigen lagen die Abweichungen unter 5 m/sec. Ein gewisser Sprung, der sich statistisch aber nicht als signifikant erweist, zeigt sich zumeist am späten Vormittag zwischen 11^{30} und 12^{30} Uhr. Erhöhung oder Verringerung der maximalen Leitgeschwindigkeit sind im Kollektiv jedoch nicht gleichsinnig gerichtet, sondern oft gegensinnig, so daß bei der Mittelwertbildung keine Verschiebung zum Ausdruck kommt. (Die Mittelwerte der Untersuchungsergebnisse aller 12 Versuchspersonen zu den einzelnen Untersuchungszeiten liegen dicht beieinander: 56,3 m/sec - 58 m/sec). Es war zu überlegen, ob diese Besonderheit mit der Einnahme des Mittagessens (etwa 11^{45} Uhr) zusammenhängen könnte. Da indessen auch bei den drei Versuchspersonen, die erst nach 13^{00} Uhr zu Mittag gegessen haben, die gleiche Tendenz zu erkennen ist und sich bei ihnen kein Knick zwischen 12^{30} und 16^{00} Uhr nachweisen läßt, scheidet diese Möglichkeit wohl aus (siehe Abb. 4). Auch eine Alteration des Nerven infolge der Meßprozedur, die vielleicht nach einer Stunde noch nicht kompensiert gewesen sein könnte, scheint höchst unwahrscheinlich, da die Änderung bei den Versuchspersonen nicht gleichsinnig läuft.

Betrachtet man das Gesamtkollektiv unserer 12 Versuchspersonen und läßt die individuellen Besonderheiten unberücksichtigt, so errechnet sich die maximale Leitgeschwindigkeit auf $57 \pm 3{,}9$ m/sec. (Die Variationsbreite beträgt maximal 17,5 m/sec; maximale Leitgeschwindigkeit zwischen 48 und 65,5 m/sec).

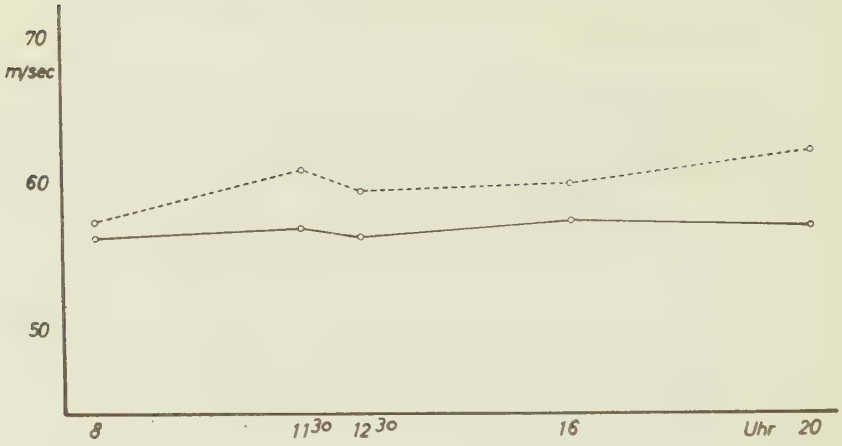

Abb. 4:
Vergleich der Mittelwerte zwischen neun Versuchspersonen, die das Mittagessen zwischen 11^{30} und 12^{30} Uhr eingenommen haben (———) und drei Versuchspersonen, die erst gegen 13^{00} Uhr gegessen haben (------).

2) Die terminale Überleitungszeit (TÜ)

In der Tabelle 2 sind die Meßergebnisse für die terminale Überleitungszeit eingetragen. Der Mittelwert errechnet sich auf 2, 7 msec. Die Variationsbreite liegt maximal bei 1, 6 msec. (Die Meßdaten schwanken zwischen 1, 9 und 3, 5 msec). Die mittlere Abweichung beträgt 0, 29 msec. Auch hier ist die interindividuelle Abweichung (± 0, 29 msec) größer als die durchschnittliche individuelle Abweichung (± 0, 21 msec). In der Abbildung 5 (Seite 14) sind die Verhältnisse aus Gründen der Anschaulichkeit noch einmal graphisch dargestellt. Gerichtete Abweichungen konnten auch hier statistisch nicht erfaßt werden.

Tabelle 2

V.P.	Alter	8^{00}	11^{30}	12^{30}	16^{00}	20^{00}	MW ± MA	M. V.
E.O.	41	3,5	3,0	2,5	2,7	2,8	2,9 ± 0,38	3,5 - 2,5
S.I.	40	2,7	2,5	3,1	3,1	3,0	2,88 ± 0,26	3,1 - 2,5
K.S.W.	36	2,8	2,8	2,6	2,5	2,8	2,7 ± 0,14	2,8 - 2,5
K.F.	35	2,0	2,3	2,5	1,9	2,5	2,24 ± 0,27	2,5 - 1,9
F.U.	30	2,6	2,8	2,3	2,7	2,5	2,58 ± 0,19	2,8 - 2,3
B.O.	25	2,4	2,7	2,7	2,4	2,4	2,5 ± 0,16	2,7 - 2,4
B.H.	25	2,6	2,8	2,7	3,0	2,7	2,76 ± 0,15	3,0 - 2,6
R.R.	24	3,4	3,1	2,7	2,6	2,6	2,88 ± 0,27	3,4 - 2,6
B.G.	20	2,7	3,0	2,6	2,7		2,75 ± 0,2	3,0 - 2,6
K.R.	19	2,7	3,1	2,7	2,8	3,0	2,86 ± 0,18	3,0 - 2,7
E.C.	19	2,6	2,7	2,2	2,4	2,3	2,44 ± 0,2	2,7 - 2,2
K.M.	19	2,4	2,5	2,4	2,3	2,3	2,38 ± 0,08	2,5 - 2,3
MW ± MA	26 ± 8,5	2,7 ± 0,4	2,8 ± 0,24	2,6 ± 0,2	2,6 ± 0,3	2,6 ± 0,25	2,7 ± 0,29	
M.V.	41 - 19	3,5 - 2,0	3,1 - 2,3	3,1 -2,2	3,1 - 1,9	3,0 - 2,3		1,9 -3,5

Terminale Überleitungszeit (TÜ) msec, V.P. = Versuchspersonen, MW = Mittelwert, MA = mittlere Abweichung, M.V. = maximale Variationsbreite.

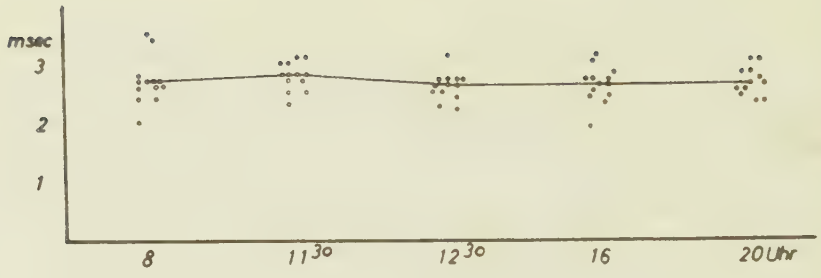

Abb. 5:
Einzelwerte und Mittelwertskurve für die terminale Überleitungszeit.

3) Die Streubreite (STB)

Die Werte für die Streubreite sind in der Tabelle 3 zusammengefaßt. Der Mittelwert für das Gesamtkollektiv liegt bei 8,6 ± 1,08 m/sec. Die maximale Variation beträgt 5 m/sec. (Einzelwerte zwischen 6 und 11 m/sec). Gegenüber der maximalen Leitgeschwindigkeit fällt auf, daß die individuelle mittlere Abweichung (1,02 m/sec) ziemlich gut mit der interindividuellen (1,08 m/sec) übereinstimmt. Unterschiede zwischen verschiedenen Versuchspersonen kommen also hier nicht so zur Auswirkung, wie bei der Bestimmung der maximalen Leitgeschwindigkeit.

Die Streubreite bewegt sich unabhängig davon, ob die maximale Leitgeschwindigkeit rasch (65,5 m/sec) oder langsam (48 m/sec) ist. Auch hier lassen die Mittelwerte für die einzelnen Untersuchungszeiten im Gesamtkollektiv keine nennenswerten Unterschiede erkennen (siehe Abb. 6). Indessen ist die Standardabweichung der Streubreite zu einzelnen Meßzeiten auffällig unterschiedlich. Für 12^{30} Uhr liegt sie bei 1, 6 m/sec, für 16^{00} Uhr bei 0, 6 m/sec. Errechnet man den F - Wert für diese beiden Varianzen, so erweist er sich als statistisch signifikant ($p < 0,02$). Die Abweichung der fünf Tagesmeßwerte einer Versuchsperson von dem individuellen Mittelwert variiert dagegen nicht sicher signifikant, jedoch mit

Tabelle 3

V.P.	Alter	8^{00}	11^{30}	12^{30}	16^{00}	20^{00}	MW ± MA	M.V.
E.O.	41	8	7	7	9	8	7,8 ± 0,89	7 - 9
S.I.	40	10	10	10	9	9	9,6 ± 0,5	9 - 10
K.S.W.	36	9	10	6	8	8	8 ± 1,4	6 - 10
K.F.	35	8	10	10	9	8	9 ± 1,0	8 - 10
F.U.	30	8,5	9	10	8	8	8,7 ± 0,8	8 - 10
B.O.	25	7	7	7	8	9	7,6 ± 0,89	7 - 9
B.H.	25	8	9	11	10	8	9,2 ± 1,3	8 - 11
R.R.	24	8	10	10	8	7	8,6 ± 1,3	7 - 10
B.G.	20	8,5	9,5	7	9		8,5 ± 1,0	7 - 9,5
K.R.	19	10	9,5	8,5	8	6	8,4 ± 1,5	6 - 10
E.Ch.	19	9	7	9	9	9	8,6 ± 0,89	7 - 9
K.M.	19	9	8	10	9,5	9,5	9,2 ± 0,75	8 - 10
MW ± MA	26 ± 8,5	8,6 ± 0,87	8,8 ± 1,2	8,8 ± 1,6	8,7 ± 0,6	8,1 ± 1,0	8,6 ± 1,08	
M.V.		7 - 10	7 - 10	6 - 11	8 - 10	6 - 9,5		6 - 11

Streubreite (STB) m/sec, V.P. = Versuchspersonen, MW = Mittelwert, MA = mittlere Abweichung, M.V. = maximale Variationsbreite.

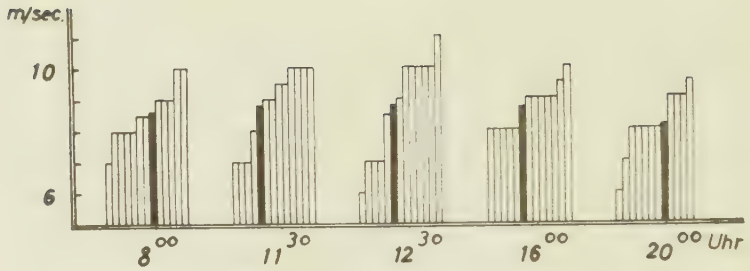

Abb. 6:
Die Werte für die Streubreite, graphisch dargestellt, zu den einzelnen Untersuchungszeiten. Die schwarzausgezogene Säule ergibt jeweils den Mittelwert.

einer Zufallswahrscheinlichkeit von $p < 0,1$ für die Zeiten 11^{30} und 12^{30} Uhr. Das heißt also, daß die Streubreite individuell (mit großer Wahrscheinlichkeit) und interindividuell (signifikant) um die Mittagszeit auffällig starken Schwankungen unterworfen ist. Diese letzte Berechnung wurde mit Hilfe der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis durchgeführt.

4) Das Summenpotential

Als letztes Kriterium wurde die Dauer des Summenpotentials bestimmt und die Werte bei distaler und proximaler Reizung gegenübergestellt (Tabelle 4). Die Potentialdauer beträgt dabei $10,5 \pm 1,2$ msec für das Potential nach Reizung am Handgelenk und $11,1 \pm 1,3$ msec für das Potential nach Reizung am Oberarm. Man müßte danach annehmen, daß die muskuläre Erregung durch die zuletzt eintreffenden Nervenimpulse 0,6 msec später ausklingt als die der rasch laufenden Nervenimpulse. Setzt man diesen Wert als die Differenz , mit der die Nervenimpulse auch den Muskel erreichen, so ist folgendes zu überlegen: Bei einer durchschnittlichen Reizdistanz von 39 cm zwischen distalem und proximalem Reizort errechnet sich auf die Leitgeschwindigkeit für die langsameren Motoneuronen auf 52 m/sec. Der Unterschied gegenüber der maximalen Leitgeschwindigkeit ($57 \pm 3,9$ m/sec) beträgt demnach 5 m/sec. Dieser Wert liegt wesentlich niedriger als das Ergebnis bei der direkten Messung ($8,6 \pm 1,08$ m/sec).

Tabelle 4.

V.P.	Alter	8^{00}		11^{30}		12^{30}		16^{00}		20^{00}	
		d.	p.	d.	p.	d.	p.	d.	p.	d.	p.
E.O.	41	13,0	13,5	9,0	10,0	9,5	10,0	13,0	14,0	11,0	12,0
S.I.	40	9,5	9,5	9,5	11,0	11,0	11,5	11,0	11,5	10,0	11,0
K.S.W.	36	10,2	10,0	10,6	10,1	11,0	11,5	10,5	11,5	10,5	10,5
K.F.	35	10,6	11,8	9,5	10,5	9,5	10,0	10,0	10,0	9,0	10,0
F.U.	30	10,5	12,0	11,0	12,0	13,0	12,5	13,0	13,0	10,0	11,0
B.O.	25	9,8	10,5	9,5	10,0	9,0	9,0	8,8	9,0	8,5	9,0
B.H.	25	9,8	11,5	11,0	12,0	10,8	11,0	11,0	11,0	9,5	10,0
R.R.	24	10,5	11,0	12,0	13,0	9,5	11,0			11,0	11,0
B.G.	20	9,5	10,2	9,0	10,0	9,5	10,5	10,0	10,0		
K.R.	19	12,0	12,0	11,5	11,5	10,2	10,5	10,2	10,5	10,5	11,0
E.Ch.	19	14,0	15,0	9,5	10,0	12,0	13,0	12,0	14,0	12,0	13,0
K.M.	19	10,0	10,3	9,5	10,0	9,0	9,5	10,0	11,0	10,0	11,0
MW $\pm$ MA	26 $\pm$ 8,5	10,8 $\pm$ 1,4	11,4 $\pm$ 1,6	10,1 $\pm$ 1,0	10,8 $\pm$ 1,0	10,3 $\pm$ 1,25	10,8 $\pm$ 1,2	10,9 $\pm$ 1,3	11,4 $\pm$ 1,6	10,2 $\pm$ 0,98	10,9 $\pm$ 1,0

Dauer des Summenpotentials bei distaler und proximaler Reizung msec, d = distal, p = proximal, MW = Mittelwert, MA = mittlere Abweichung, V.P. = Versuchspersonen.

5) Fehlerberechnung für die Bestimmung der maximalen Leitgeschwindigkeit:

Überleitungszeit bei Messung am Oberarm = 9 m/sec. Dabei kann die Zeit auf 0, 2 m/sec genau ausgemessen werden. Die gleiche Genauigkeit ist für die distale Überleitungszeit (3.0 m/sec) anzusetzen. Danach ergibt sich folgende Berechnung:

$9 \pm 0,2 - 3 \pm 0,2 = 6 \pm 0,283 = 4,67\,\%$

Länge der Strecke = 39 cm, Genauigkeit auf 0, 5 cm = 1,3 %

Gesamtfehler $\sqrt{(1,3\,\%)^2 + (4,67\,\%)^2} = 4,8\,\%$

Das ist bei 57 m/sec der Leitgeschwindigkeit = 2, 7 m/sec.

BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE

Als erster hat wohl CORBAT (1961) den Versuch unternommen, die individuelle Leitgeschwindigkeit im Verlauf eines Tages zu verfolgen. Bei drei Versuchspersonen wurde die maximale Leitgeschwindigkeit zu acht verschiedenen Tageszeiten bestimmt. Dabei ergaben sich einmal Schwankungen zwischen 70 und 52 m/sec, andererseits zwischen 50, 5 und 63 m/sec und schließlich zwischen 56 und 47, 5 m/sec (siehe CORBAT, Abb. 3). Nun benutzte CORBAT die folgende Anordnung: er reizte oberhalb der Ellenbeuge und am Handgelenk, so daß die Reizdistanz relativ kurz, nämlich 28 cm war. Bei unseren Untersuchungen hatten wir eine durchschnittliche Reizdistanz zwischen distalem und proximalem Reizort von 39 cm; sie ist also fast 40 % größer. Meßfehler der Reizdistanz wirken sich also auf unsere Ergebnisse weniger stark aus. Darüberhinaus stand CORBAT die Kontrolle durch die Doppelreizmethode nicht zur Verfügung. Diese Kontrollmöglichkeit bietet insofern einen großen Vorteil, als die Zeit exakt zwischen dem ersten und zweiten Reizartefakt gemessen werden kann und die Unsicherheit über den Beginn des Muskelpotentials keinen Einfluß hat. Dieser Gesichtspunkt fällt besonders für die

Bestimmung der terminalen Überleitungszeit stärker ins Gewicht und damit auch für die maximale Leitgeschwindigkeit. Denn zu ihrer Berechnung wird die Differenz zwischen Überleitungszeit nach proximalem Reiz und terminaler Überleitungszeit (nach distalem Reiz) gebildet. Bei den Ergebnissen von CORBAT handelt es sich also um unkorrigierte Werte, wobei die Fehlerberechnung von 5, 87 % oder 6 m/sec eher zu niedrig liegen dürfte.

Die hier vorgelegten Befunde basieren auf korrigierten Werten (siehe unter der Methodik), so daß sie als exakter angesehen werden müssen. Darin ist wohl auch die Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse zu suchen. Im Gegensatz zu CORBAT konnten nennenswerte Schwankungen in der maximalen Leitgeschwindigkeit nicht festgestellt werden. Vielmehr beträgt die maximale Abweichung für die einzelnen Versuchspersonen nicht mehr als 9 m/sec. Das ist aber gerade die Hälfte der maximalen individuellen Abweichung, die CORBAT fand (18 m/sec). Die mittlere Abweichung für das Kollektiv der 12 Versuchspersonen liegt sogar bei 2, 5 m/sec. Wir kommen somit zu der gleichen Auffassung wie VACEK (1963), der ebenfalls keine Veränderung der Leitgeschwindigkeit im Verlauf eines Tages nachweisen konnte.

Der Zeitpunkt des Tages, an dem die Bestimmung der Leitgeschwindigkeit vorgenommen wird, spielt also keine erhebliche Rolle. Versuchspersonen mit einer hohen durchschnittlichen Leitgeschwindigkeit zeigen gewöhnlich auch höhere Einzelwerte zu den verschiedenen Tageszeiten, als Versuchspersonen mit einer niedrigen durchschnittlichen Leitgeschwindigkeit. Es scheint daher so zu sein, daß jeder Mensch eine charakteristische Leitgeschwindigkeit besitzt. Von welchen Bedingungen dieser Wert abhängt, ob beispielsweise Beziehung zur Körpergröße besteht, woran man im Hinblick auf die Abhängigkeit der Leitgeschwindigkeit vom Axonkaliber, der Dicke der Myelinhülle und der Distanz der Schnürringe denken könnte (siehe WAGMAN und LESSE 1952), müssen weitere Untersuchungen ergeben.

Die absoluten Werte für die maximale Leitgeschwindigkeit der Motoneuronen im N. ulnaris, die die Hypothenarmuskeln versorgen, entprechen denen, die von den anderen Autoren mitgeteilt wurden (siehe NORRIS u. Mitarb. 1953, REDFORD 1958, GILLIATT u. Mitarb. 1960, MAVOR u. Mitarb. 1962, HOPF 1962 a, siehe auch HOPF 1963 a und SKOPRIL 1965).

Die Werte für die terminale Überleitungszeit (je fünf Messungen bei 12 Versuchspersonen, also der Durchschnitt von 60 Messungen) stimmen exakt mit denen überein, die CARPENDALE (1956) und MULDER u. Mitarb. (1961) errechnet haben. Die maximale Variationsbreite gleicht der, die EBLING u. Mitarb. (1960) und MULDER u. Mitarb. (1961) mitgeteilt haben. Neue Gesichtspunkte ergeben sich hier also nicht.

Die Meßergebnisse für die Unterschiede zwischen rasch und langsam leitenden motorischen Nervenfasern (Streubreite) weichen von den Angaben von HOPF (1962 a) ab. Dieser Autor fand eine Streubreite von 4 - 7 m/sec bei gesunden Versuchspersonen. Wir haben jetzt 6 - 10 m/sec errechnet. Die Differenz beruht darauf, daß unter dem Gesichtspunkt der Untersuchungsergebnisse von SKORPIL u. ZVERINA (1963) die Methode der Ausmessung abgewandelt wurde. Die Verstärkung des Muskelaktionspotentials wurde größer gewählt, um die frühesten und spätesten Vorgänge besser erfassen zu können. Der Wert für die Streubreite mußte daher größer werden.

SKORPIL u. ZVERINA (1963) nun fanden noch höhere Werte, nämlich eine Streubreite von 8, 7 - 16, 7 m/sec. Der Unterschied ist sicher folgendermaßen zu erklären: treffen zwei rasch aufeinander folgende Impulse auf den neuromuskulären Übergang, so kann es sein, daß der zweite noch in die relative refraktäre Periode fällt – nämlich dann, wenn das Intervall genügend klein ist. Gewöhnlich folgen die beiden Reizimpulse bei der Methode von HOPF (1962 a) innerhalb von 8 - 10 msec aufeinander. Dieser Zeitraum liegt aber noch innerhalb der relativen Refraktärzeit der motorischen Endplatte (siehe HOPF u. HUFSCHMIDT 1962), so daß mit zunehmender Verringerung des Reizintervalls die elektrische muskuläre

Antwort leicht absinkt, ohne daß es schon zu einer Blockierung von Nervenfasern gekommen sein muß. Der Endwert sollte deshalb immer so festgelegt sein, daß derjenige Zeitpunkt gewählt wird, an dem der rasche Abfall des Potentials gerade beginnt bzw. an dem der rasche Anstieg des zweiten Potentials gerade aufhört.

Ein wesentliches Ergebnis der vorliegenden Untersuchungen liegt wohl darin, daß die Streubreite sehr viel konstanter ist als die maximale Leitgeschwindigkeit. Sie zeigt vor allem nicht die deutlichen individuellen Unterschiede. Spekulationen darüber, ob ein gemessener Wert unter Berücksichtigung des eventuell zu erwartenden Ergebnisses unter physiologischen Bedingungen schon als pathologisch zu werten ist oder nicht, entfallen dabei. Die Kriterien, ob ein Normalbefund, ob noch ein Grenzwert, oder schon ein pathologischer Befund vorliegt, sind exakter (siehe HOPF 1962b, 1963a u.b und 1965). Die Bestimmung der Streubreite stellt deshalb eine verläßlichere Methode zur Erfassung leichter Funktionsstörung der motorischen Nerven dar als die Bestimmung der maximalen Leitgeschwindigkeit. Eigenartig ist die individuell weniger deutlich hervortretende, bei Berücksichtigung eines Kollektivs jedoch statistisch signifikant erhöhte Variation der Streubreite um die Mittagszeit (12^{30} Uhr). Dieser Befund läßt sich derzeit noch nicht erklären. Vielleicht besteht hier eine Beziehung zu den Dianen oder Circadianen Rhythmen, die man für verschiedene Funktionen des menschlichen Organismus festgestellt hat.

Die Dauer des Summenpotentials ändert sich in Abhängigkeit von der Reizdistanz: wird der Reiz dicht am Muskel ausgelöst, so ist das Summenpotential der Hypothenarmuskeln kürzer als wenn der Reiz entfernt vom Muskel gesetzt wird. Dies hat schon MERTON (1954) festgestellt. BOLZANI (1954) und POLONI u. SALA (1961) berechneten auf Grund dieses Unterschiedes die Leitgeschwindigkeit der langsamsten motorischen Fasern. An Hand der 60 Einzelbestimmungen bei den 12 Versuchspersonen der vorliegenden Untersuchungsreihe ergibt sich, daß die Potentialdauer nach proximaler Reizung um 0,6 msec höher liegt als nach distaler (muskelnaher) Reizung – wobei darauf hingewiesen werden muß, daß das Ende des Summen-

potentials zumeistens nur schwer exakt zu bestimmen ist. Vorausgesetzt, daß das Ausklingen der Erregung dem späteren Eintreffen der Impulse in den labgsamen Fasern tatsächlich entspricht, errechnet sich für die langsamen Fasern eine Leitgeschwindigkeit, die 5 m/sec niedriger liegt als die der raschen Motoneuronen. Dieser Wert beträgt fast nur die Hälfte von demjenigen, der sich auf Grund der direkten Bestimmung nach der Methode von HOPF ergibt. Berechnungen der Streubreite, die sich auf die Dauer des Muskelpotentials stützen, müssen daher fehlerhaft sein.

ZUSAMMENFASSUNG

Bei 12 Versuchspersonen wurden auf Grund von je fünf über den Tag verteilten Messungen der Leitgeschwindigkeit in den motorischen Fasern des N. ulnaris folgende Befunde erhoben:

1) Die maximale Leitgeschwindigkeit variiert von Versuchsperson zu Versuchsperson zum Teil erheblich (50 - 61,5 m/sec).

2) Größere Schwankungen zu den einzelnen Tageszeiten treten nicht auf. Jeder Proband behält vielmehr die ihm zugeordnete Leitgeschwindigkeit im Ablauf eines Tages bei.

3) Wahrscheinlich besitzt jede Versuchsperson eine für sie charakteristische Leitgeschwindigkeit.

4) Die terminale Überleitungszeit bewegt sich nur innerhalb enger Grenzen, größere Abweichungen wurden nicht gefunden, die Ergebnisse stimmen mit denen anderer Autoren überein.

5) Die Streubreite ist von den individuellen Unterschieden in der maximalen Leitgeschwindigkeit unabhängig. Sie scheint daher besser geeignet zu sein, eine Funktionsstörung leichten Grades zu erfassen.

6) Auffälligerweise tritt eine signifikant größere Variation in der Zeitgruppe um 12^{30} Uhr auf, deren Ursache noch unklar ist.

7) Die Dauer des Summenpotentials und die Änderung bei unterschiedlicher Reizdistanz erscheinen ungeeignet, als Anhaltspunkt für die Berechnung der Streubreite zu dienen.

Aus diesen Ergebnissen muß geschlossen werden, daß die Streubreite einen sicheren Anhaltspunkt für die Erkennung von Funktionsstörungen der peripheren motorischen Nerven bietet als die maximale Leitgeschwindigkeit.

Herrn Privatdozenten Dr. med. H. C. Hopf möchte ich für das erhaltene Dissertationsthema meinen aufrichtigen Dank aussprechen. Vor allem möchte ich ihm von Herzen danken für die Übernahme des Referates und die Korrektur meiner Arbeit, besonders aber für die stets freundliche Bereitwilligkeit, mit der Herr Privatdozent Dr. Hopf sein Gerät und seine Untersuchungsmethode zur Verfügung stellte.

Ebenso sei an dieser Stelle meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. med. G. Schaltenbrand, für die Übernahme des Korreferates herzlichst gedankt.

LITERATURVERZEICHNIS

BROCH, L.G., J.S. COOMBS, J.C. ECCLES: The recording of petentials from motoneurons with an intracellular electrode. J. Physiol. (Lond.) 117, 431 (1952)

BOLZANI, L.: La curva intensità durata (i/t) e la velocità di conduzione del nervo nell' uomo. Schweiz. Arch. Neurol. Psychiat. 74, 148 (1954)

BOYD, I.A., A.R. MARTIN: The end-plate potential in mammalian muscle. J. Physiol. (Lond.) 132, 74 (1956)

CARPENDALE, M.T.F.: Conduction time in the terminal portion of the motor fibres of the ulnar, median and peroneal nerves in healthy subjects and in patients with neuropathy. M.S. Thesis (Phys. Med.), Univ. of Minnesota (1956)

CORBAT, F.: Über Messungen der Leitgeschwindigkeit am peripheren Nerven und deren Verwertung in der Klinik. Dtsch. Nervenheilk. 182, 652 (1961)

DUENSING, F.: Das normale Elektroencephalogramm. Psychol. Rundschau, Bd. 3/3, 173-190, (1952)

EBELING, P., R.W. GILLIATT, P.K. THOMAS: A clinical and electrical study of ulnar nerve lesions in the hand. J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. 23, 1 (1960)

ECCLES, J.D., W.F. O CONNER: Responses which nerve impulses evoke in mammalian muscle. J. Physiol. (Lond.) 97, 44 (1939)

GILLIATT, R.W., P.K. THOMAS: Changes in nerve conduction with ulnar lesions at the elbow. J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. 23, 312 (1960)

HELMHOLTZ, H.v.: Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven. Arch. f. Anat. 1850, 267-364

HELMHOLTZ, H.v., N.BAXT: Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen. M.-Ber. Kgl.-preuß. Akad. Wissensch. 1867, 234

HELMHOLTZ, H.v.: Neue Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen. M.-Ber. Kgl.-preuß. Akad. Wissensch. 1870, 184

HENRIKSEN, J.D.: Conduction velocity of motor nerves in normal subjects and in patients with neuromuscular disorders. Thesis, Graduate School, Univ. of Minnesota 1956

HODES, R., M.F. LARRABEE, W. GERMAN: The human electromyogramm in response to nerve stimmulation and the conduction velocity of motor axons. Arch. Neurol. Psychiat. (Chic.) 60, 340 (1948)

HOPF, H.C.: Untersuchungen über die Unterschiede in der Leitgeschwindigkeit motorischer Nervenfasern beim Menschen. Dtsch. Z. Nervenheilk. 183, 579 (1962a)

HOPF, H.C.: Elektromyographische Untersuchungen über Polyneuritis und Polyradiculitis. Dtsch. Z. Nervenheilk. 184, 174 (1962b)

HOPF, H.C.: Das Elektromyogramm bei Nervenreizung. Fortschr. Neurol. Psychiat. 31, 585 (1963a)

HOPF, H.C.: Electromyographic study on so-called mononeuritis. Arch. Neurol. (Chic) 9, 307 (1963b)

HOPF, H.C.: Leitgeschwindigkeit motorischer Nerven bei der Multiplen Sklerose und unter dem Einfluß hoher Cortison-Medikation. Dtsch. Z. Nervenheilk. 187, 522 (1965)

HOPF, H.C.: Moderne Diagnostik peripherer Nervenkrankheiten. Münch. med. Wschr. 108, 253 (1966)

HOPF, H.C.: Akrodermatitis Chronica Atrophicans (HERXHEIMER) und Nervensystem. Monographien aus dem Gebiet der Neurol. u. Psychiat. H. 114 (Springer: Berlin, Göttingen, Heidelberg 1966)

HOPF, H. C., H. J. HUFSCHMIDT: Gibt es eine Doppelinnervation im menschlichen Muskeln?
Pflüg. Arch. ges. Physiol. 275, 152 (1962)

JARCHO, L. W., C. EYZAGUIRRE, S. A. TALBOT, J. L. LILIENTHAL jr.: Neuromuscular excitation: responses of normal and denervated mammalian muscle to bis-tri-methyl ammonium decane (C 10) and to D-tubocurarine.
Amer. J. Physiol. 162, 475 (1950)

JUNG, R.: Das Elektroencephalogramm; Handbuch der Inneren Medizin. Bd. V/1,
(Springer, Berlin 1953)

KUFFLER, S. W.: Physiology of neuromuscular junctions; electrical aspects.
Fed. Proc. 7, 437 (1948)

LIENERT, G. A.: Verteilungsfreie Methode der Biostatistik.
(Hain, Meisenheim am Glan 1962)

LILEY, A. W., K. A. K. NORTH: An electrical investigation of repetitive stimulation on mammalian neuromuscular junction.
J. Neurophysiol. 16, 509 (1953)

LORENTE DE NO, R.: The synaptic delay of motoneurons.
Amer. J. Physiol. 111, 272-282 (1935)

LORENTE DE NO, R.: Limits of variation of the synaptic delay of motoneurons.
J. Neurophysiol. 1, 187 - 194 (1938)

MAGLADERY, J. W., D. B. MCDOUGAL jr.: Electrophysiological studies of nerve and reflex activity in normal man.
I. Bull. Johns Hopk. Hosp. 86, 265 (1950)

MAVOR, H., I. LIBMAN: Motor nerve conduction velocity measurement as a diagnostic tool.
Neurology (Minneap.) 12, 733 (1962)

MERTON, P. A.: Conductions of muscle produced by synchronous and asynchronous motor volleys.
J. Physiol. (Lond.) 112, 6 (1951)

MERTON, P. A. Interaction between muscle fibres in a twich.
J. Physiol. (Lond.) 124, 311 (1954)

MULDER, D.W., E.H. LAMBERT, J.A. BASTRON, R.G. SPRAGUE: The neuropathies associated with diabetes mellitus. Neurology (Minneap.) 11, 275 (1961)

NORRIS, A.H., N.W. SHOCK, I.H. WAGMAN: Age changes in the maximum conduction velocity of motor fibres of human ulnar nerves. J.Appl. Physiol. 5, 589 (1953)

PIPER, H.: Über die Leitgeschwindigkeit in den markhaltigen menschlichen Nerven. Pflüg. Arch. ges. Physiol. 124, 591 (1908) und 127, 474 (1909)

POLONI, A.E., E.SALA: The problem of measuring conduction velocity for the slowest fibres on the ground of the spreading of the muscle response as the motor nerve is maximally stimulated at increasing distance from the recording situation. Vortrag: 1 internat. Kongr. of Electromyography, Pavia 1961

REDFORD, J.D.: Conduction time in the motor fibres which innervate proximal muscles in the extremities in normal persons and in patients with neuromuscular diseases. M.S. Thesis (Phys. Med.), Univ. of Minnesota 1958

SKORPIL, V.: Conduction velocity of human nerve structures. Rozpr. Cs. Akad. Ved. 75 (1965)

SKORPIL, V., E. ZVERINA: Cs. fysiol. 12, 339 (1963) (zit. nach SKORPIL 1965)

TASAKI, J.: Conduction of nerve impulse. In: Handbook of Physiology S 1: Neurophysiology, vol 1. 75ff. Williams & Wilkins Co., Baltimore 1959

TASAKI, J.: Nervous transmission. Thomas, Springfield (Ill.) 1953

THOMAS, P.K., T.A. SEARS, R.W. GILLIATT: The range of conduction velocity in normal motor nerve fibres to the small muscles of the hand and foot. J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. 22, 175 (1959)

VACEK, J.: Candidates Thesis Charles University, Praha 1963 (zit. nach SKORPIL)

WAGMAN, I.H., H. LESSE: Maximum conduction velocities of motor fibres of ulnar nerve in human subjects of various ages and sizes. J. Neurophysiol. 15, 235 (1952)

LEBENSLAUF

Am 28.4.1930 wurde ich als Sohn des Tschu Sik Kim und seiner Ehefrau Kyung I Tschu in Taegu/Süd-Korea geboren.

Schulen:

5.4.1938 - 30.4.1944:	The "HAE SYUNG" Primary School in Taegu
2.4.1944 - 28.3.1950:	The "TAE RYUN" High School in Taegu
12.6.1950 - 30.3.1957:	The "KYUNG-POOK" National University, School of Medizine (Doctor of Medicine)
1.4.1959 - 25.3.1961:	The "KYUNG-POOK" National University, Post-graduated School (Master of Science)
1.10.1963 - 22.11.1964:	Wiener medizinische Akademie für ärztliche Fortbildung (Diplom of Neurology and Psychiatry)

Beruflicher Werdegang:

15.5.1957 - 15.9.1958:	The Red Cross Hospital in Sang Tschu als Praktikant
1.4.1959 - 31.3.1961:	Medizinische Universitäts-Klinik Kyung-Pook als Forschungsstudent mit voll klinischem Dienst
13.11.1961 - 28.10.1964:	Neurologisch-Psychiatrische Universitäts-Klinik in Wien als Gastarzt
Seit 1.12.1964	Neurologische Universitäts-Klinik und Poliklinik Würzburg als wissenschaftliche Hilfskraft mit Verwalter-Bezügen.

Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich die vorliegende Arbeit selbständig verfaßt und außer der angegebenen Literatur keine weiteren Hilfsquellen benutzt habe.

Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich bisher von keiner anderen Seite ein Dissertationthema zur endgültigen Bearbeitung erhalten habe. Sang Wook Kim

IBM-SCHREIBSATZ, OFFSETDRUCK
G U G E L
87 Würzburg, Burkarderstr. 9

IBM-SCHREIBSATZ, OFFSETDRUCK
G U G E L
87 Würzburg, Burkarderstr. 9